

ANEJO N°1: ESTUDIO DE SOLUCIONES



Josep Molina Ruiz



ÍNDICE

| | | | |
|--|----|--|----|
| 1. OBJETO DEL INFORME..... | 2 | 7.5.2 Impostas..... | 15 |
| 1.1 Alcance del estudio | 2 | 7.5.3 Defensas..... | 15 |
| 2. CONDICIONANTES Y FACTORES A CONSIDERAR | 2 | 7.5.4 Protección del hueco entre calzada y aceras..... | 16 |
| 2.1 Limitaciones geométricas..... | 2 | 7.5.5 Drenaje..... | 16 |
| 2.1.1 Trazado en planta..... | 2 | 7.5.6 Iluminación..... | 16 |
| 2.1.2 Trazado en alzado..... | 2 | 8. CONCLUSIÓN..... | 17 |
| 2.1.3 Sección transversal..... | 3 | 9. Referencias..... | 17 |
| 2.2 Condiciones climatológicas | 3 | | |
| 2.3 Factor constructivo..... | 4 | | |
| 2.4 Factor estético..... | 4 | | |
| 2.5 Otros factores técnicos..... | 4 | | |
| 3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS | 4 | | |
| 4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS..... | 5 | | |
| 4.1 Alternativa nº 1: Puente con doble viga triangulada | 6 | | |
| 4.2 Alternativa nº 2: Puente arco con tablero inferior..... | 7 | | |
| 4.3 Alternativa nº 3: Puente atirantado..... | 8 | | |
| 4.4 Alternativa nº 4: Puente arco con bifurcación en los extremos y tablero inferior | 9 | | |
| 5. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS..... | 10 | | |
| 5.1 Criterio estructural | 10 | | |
| 5.2 Criterio constructivo..... | 10 | | |
| 5.3 Criterio funcional..... | 10 | | |
| 5.4 Criterio estético..... | 10 | | |
| 5.5 Criterio de impacto ambiental | 10 | | |
| 5.6 Criterio económico..... | 10 | | |
| 6. ESTUDIO COMPARATIVO REALIZADO | 11 | | |
| 7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN | 11 | | |
| 7.1 Arco de acero | 11 | | |
| 7.2 Péndolas y anclajes..... | 11 | | |
| 7.3 Tablero mixto | 12 | | |
| 7.4 Estribos y subestructuras | 12 | | |
| 7.5 Equipamientos..... | 14 | | |
| 7.5.1 Pavimento..... | 14 | | |

1. OBJETO DEL INFORME

En el presente anejo se describen las distintas alternativas propuestas para el concurso de ideas del puente sobre la Rambla de Alcalá, en Benicarló. De esta manera se describen las distintas alternativas contempladas definiendo el sistema primario y las características distintivas de cada una de ellas. También se expone el método de evaluación empleado y los criterios de elección que se han considerado para adoptar como solución la propuesta desarrollada.

1.1 Alcance del estudio

En este apartado se detalla qué aspectos de las diferentes soluciones propuestas se van a analizar, así como con qué nivel de detalle se va a realizar el estudio comparativo.

Los aspectos que se van a tener en cuenta en cada una de las propuestas, son los siguientes:

- Todas las soluciones han de cumplir con los condicionantes que se explican en el apartado 2 del presente documento.
- Se lleva a cabo un estudio de las distintas soluciones estructurales para el puente, según criterios que se basan en la buena práctica de estructuras similares (tipologías y luces, entre otros aspectos).
- Al tratarse de un concurso de ideas y al ser un trabajo académico, se va a priorizar la forma y la estética de las soluciones. Además de valorarse otros aspectos, como la facilidad constructiva y el coste de la estructura proyectada.

2. CONDICIONANTES Y FACTORES A CONSIDERAR

En este apartado se explican los condicionantes y necesidades que deben cumplir las distintas soluciones que se analizan. Todos estos condicionantes son importantes e influyen en la toma de decisiones a la hora de escoger la solución para el proyecto básico.

2.1 Limitaciones geométricas

La solución debe de cumplir una serie de limitaciones geométricas en alzado, en planta y en sección transversal, impuestas por los pliegos del concurso que se detallan a continuación.

2.1.1 Trazado en planta

El puente sobre el barranco de la Rambla de Alcalá debe ser de trazado recto, manteniendo la alineación actual de la Avenida del Papa Luna, como se ve en la siguiente imagen (figura 1).



Figura 1. Trazado recto en planta. Fuente: Imagen dada por el profesorado para realizar el trabajo. (Cremades, 2015)

2.1.2 Trazado en alzado

El trazado en alzado y los gálibos exigidos quedan resumidos a continuación, y se muestran en las figuras 2 y 3.

- Acceso desde la margen derecha (A): (0+0.000, +3.260).
- Acceso desde la margen izquierda (B): (0+40.00, +3.260).
- Pendientes de entrada al puente en ambas márgenes: +5,4%.
- El gálibo impuesto en el encauzamiento es de 2.3 metros en todo el rectángulo de navegación de 8 metros por debajo del tablero (sobre la cara superior de la solera), tal y como se especifica en la figura siguiente.
- La luz libre exigida es de 40 m medidos entre los cajeros del encauzamiento.



Figura 2. Características del trazado. Fuente: Imagen proporcionada por el profesorado para realizar el trabajo. (Cremades, 2015)

2.1.3 Sección transversal

Las condiciones establecidas para la sección transversal son las siguientes, todas recogidas en la figura 4:

- Ancho útil total exigido de 17.45 m.
- Ancho repartido en: 5.575 m para la acera de aguas abajo (incluido carril bici), barrera de 0.2 m, 7.5 m de calzada (que incluyen 2 carriles), otra barrera de 0.2 m y por último, 3.975 m para la acera de aguas arriba.
- Pendiente transversal en la calzada de 1,5% en el mismo sentido en ambos carriles.
- Pendiente transversal en la acera de 1.5% en diferentes sentidos dependiendo de la acera.
- Recogida de aguas en rigolas de 0,2 m de ancho a pie de barreras.

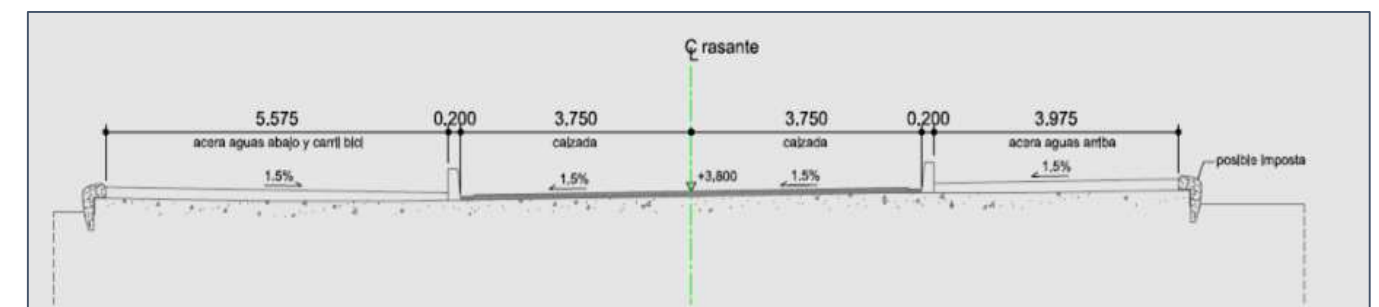


Figura 4. Resumen de condicionantes geométricos en la sección transversal. Fuente: Imagen dada por el profesorado para realizar el trabajo. (Cremades, 2015)

2.2 Condiciones climatológicas

El clima en Benicarló (Castellón) es cálido y templado, presentando en invierno una mayor intensidad de lluvia que en verano. El clima, de acuerdo al sistema de clasificación Köppen-Geiger, se considera Csa que corresponde con el clima mediterráneo de verano cálido. Este sistema de clasificación climática mundial se basa en identificar cada tipo de clima en función de las temperaturas y precipitaciones que caracterizan a cada clima.

La temperatura media anual se encuentra en 17.0 °C, y la precipitación es de 508 mm al año. A continuación, se muestra el climograma (figura 5) donde se aprecia que la precipitación media máxima está en octubre con unos 80 mm.

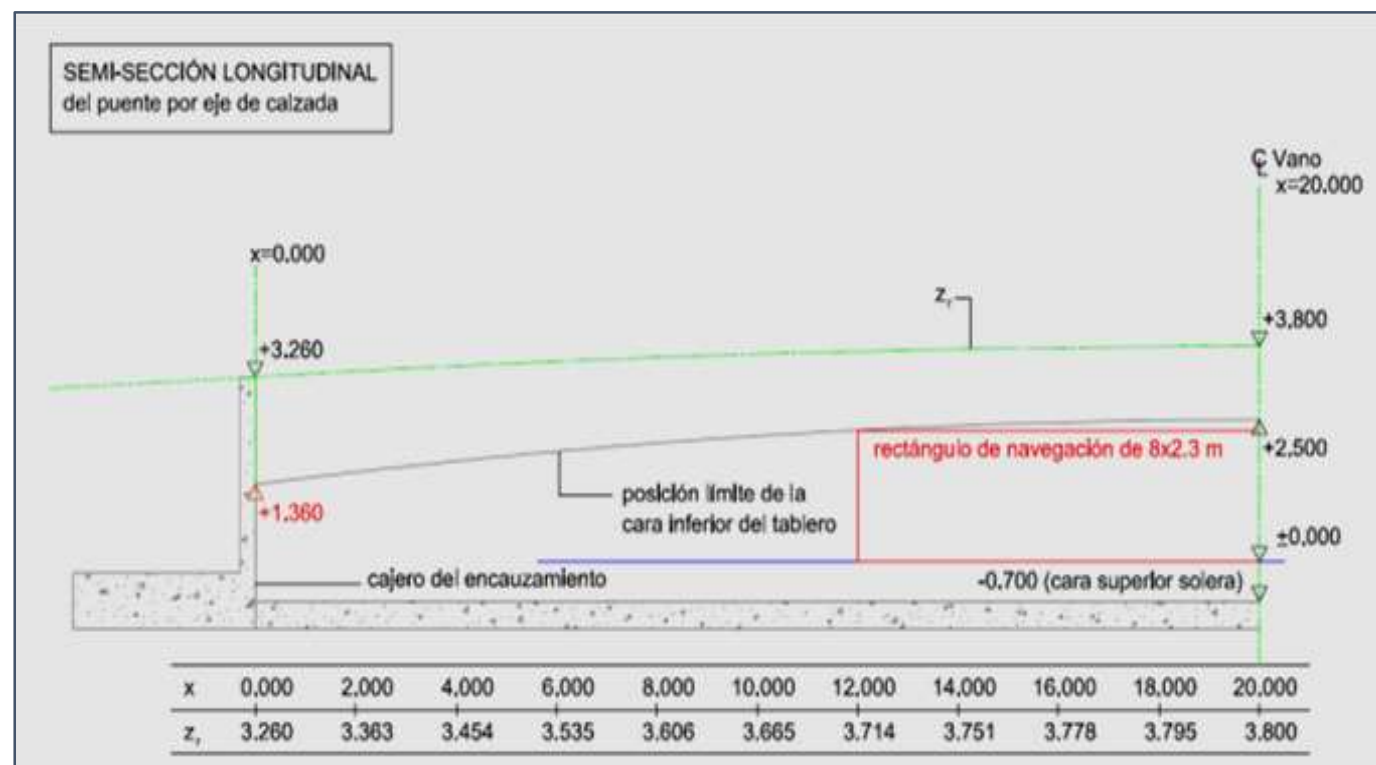


Figura 3. Gálibos impuestos en el encauzamiento. Fuente: Imagen proporcionada por el profesorado para realizar el trabajo. (Cremades, 2015)

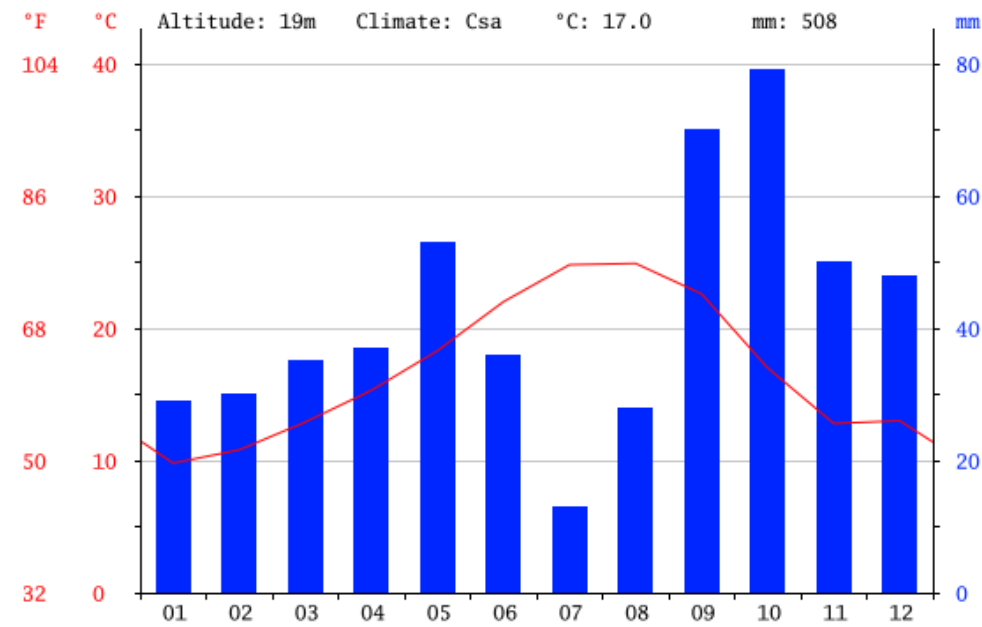


Figura 5. Climograma. Fuente: (Climate-Data, 2016)

El clima en esta zona se puede agrupar dentro del característico clima mediterráneo, destacan inviernos lluviosos y templados, veranos secos y calurosos, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones.

En la zona de Benicarló las precipitaciones no suelen ser constantes y persistentes durante el año, pero en muchas ocasiones se producen fuertes tormentas que en muy poco tiempo son capaces de producir grandes cauces de agua sobre las ramblas.

2.3 Factor constructivo

Se optará por una solución que sea eficiente desde el punto de vista hidráulico, teniendo gran capacidad para desaguar las posibles crecidas en la Rambla de Alcalá. De este modo, no se pueden disponer pilas ni ningún otro elemento que invada el cauce de la Rambla. Únicamente se contempla la posibilidad de disponer apeos provisionales para la construcción, estudiando las épocas de menor probabilidad de lluvia (correspondiente con los meses de julio y agosto).

2.4 Factor estético

Por otro lado, la solución debe quedar completamente integrada en el entorno de la zona. Como se ha indicado anteriormente, el puente se encuentra en una zona con gran desarrollo urbanístico y comercial por lo que deberá

ser una solución estética, y dar un aspecto de sencillez y ligereza para estar integrada en el emplazamiento cercano al mar.

2.5 Otros factores técnicos

A continuación, se detallan otra serie de factores relacionados con los materiales estructurales, la tipología a proyectar y los aspectos geotécnicos:

- **Materiales estructurales:** la selección de los materiales estructurales es libre, pero siempre prestando especial atención a la durabilidad y al futuro mantenimiento.
- **Tipologías:** la tipología está sujeta a no disponer apoyos dentro del encauzamiento de la rambla, y cumplir los gálibos mínimos exigidos.
- **Consideraciones sobre la geotécnica:** realizando los pertinentes estudios sobre la geología y geotecnia del emplazamiento, se ha concluido que la tipología óptima de cimentación es una cimentación profunda mediante pilotes perforados, tal y como se puede consultar en el Anejo Nº3 Informe geotécnico. A pesar de esto existe la posibilidad de poderse realizar una tipología distinta si la solución adoptada finalmente lo exige.

3. PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

En este apartado se describen las distintas posibilidades de materiales y tipologías que se podrían utilizar para diseñar la estructura, con el objetivo de obtener la mejor solución.

Actualmente, existen muchas tipologías a la hora de diseñar un puente, pero no todas se ajustan a las luces y condicionantes que se definen en los pliegos de cada proyecto. De este modo, según la tipología estructural se pueden encontrar puentes:

- Viga, trabajan principalmente a flexión como mecanismo fundamental para transmitir las cargas.
- Arco de tablero inferior, superior o intermedio, donde el mecanismo resistente principal que da soporte al tablero es el arco.
- Atirantados o colgados, donde se utilizan tirantes o cables colgados para dar soporte principal al tablero.

Estas tipologías se pueden realizar con diferentes materiales: hormigón (armado o pretensado), acero o mixtos.

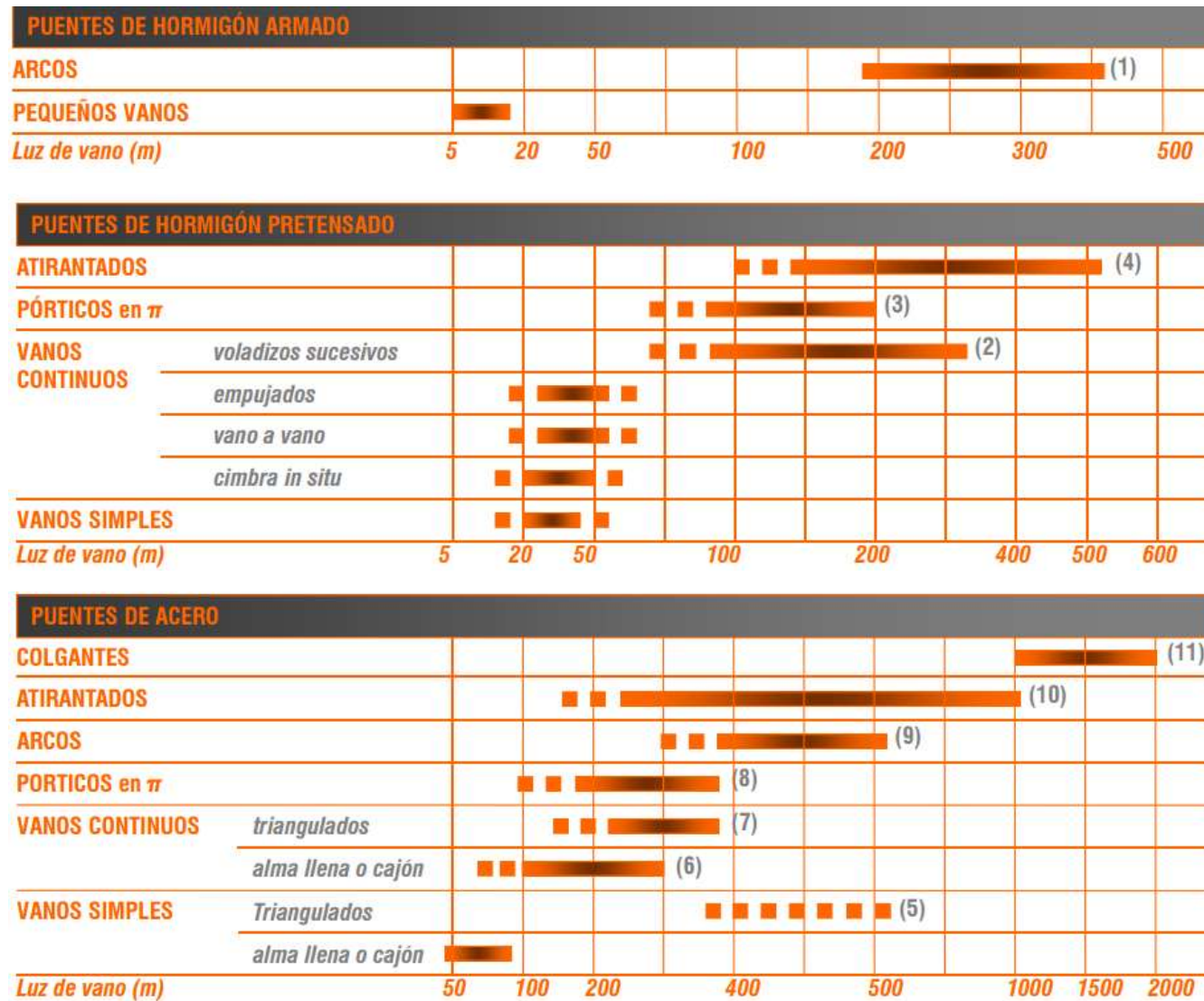


Figura 6. Tablas que relaciona las distintas tipologías con las luces óptimas en las que se emplean, en función de los distintos materiales. Fuente: (Cremades, 2015)

En la figura anterior se pueden observar las tipologías que se adaptan mejor a ciertas luces, de manera que se puede predecir en función de la luz qué tipología de estructura puede ser más eficaz desde el punto de vista económico y estructural.

En el caso de estudio, el puente se encuentra en un núcleo urbano, por lo que los aspectos formales y estéticos son de vital importancia en la estructura. Además, se han de cumplir los condicionantes impuestos en el trabajo (apartado 2 del presente anejo), por lo que el gálibo a respetar por debajo del tablero lleva a descartar todas las soluciones en las que el elemento resistente se encuentre por debajo del tablero, este es el caso de los puentes arco con tablero superior ya que se debería realizar un arco muy tendido que no se adapta a las condiciones exigidas.

También se descarta la tipología de puentes colgantes, ya que excede de las dimensiones del puente a diseñar. Mientras que una solución pretensada se descarta por la similitud con la obra realizada por los tutores del trabajo.

De este modo se tiene que las tipologías posibles que cumplen los condicionantes a respetar son:

- Puente arco con tablero inferior o intermedio.
- Puente viga.
- Puente atirantado

Partiendo de estas tipologías, se han propuesto 4 alternativas que se describen y analizan a continuación con la finalidad de elegir aquella que mejor se ajuste a los resultados buscados.

4. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Las distintas soluciones adoptadas, como se ha comentado anteriormente, se han obtenido del análisis previo de las distintas tipologías existentes y de observar cuales de estas se adecúan mejor a los condicionantes existentes.

Es conveniente destacar las características comunes en todas las propuestas:

- Pendientes longitudinales de entrada al puente, de 5,4 % en ambos lados.
- Pendientes transversales de 1.5 % en el mismo sentido en ambos carriles de la calzada y en diferente sentido en cada una de las aceras.
- Inexistencia de pilas, no se puede obstruir el cauce y es necesario respetar los gálibos mínimos.
- Sistema constructivo que obstruya lo más mínimo al cauce.
- Sistema resistente por encima del tablero.
- No se invade la mediana de la calzada en ninguna solución.

A continuación, se detallan las características de cada una de las alternativas planteadas.

4.1 Alternativa nº 1: Puente con doble viga triangulada

La primera alternativa es un puente con doble viga triangulada superior tipo Warren, por encima del tablero, a la cual se le añaden montantes verticales, con tal de mejorar su eficiencia estructural. Esto supone un mayor consumo de material, pero proporciona una visión estética del puente que pueda encajar en el entorno.

- Tablero

Se dispone un tablero mixto formado por un emparrillado de dos vigas longitudinales y vigas de piso dispuestas cada 2.5 metros, y por una losa de hormigón colaborante sobre chapa grecada. Los montantes y diagonales de la viga en celosía se unen rígidamente con las dos vigas longitudinales, tal y como se puede observar en la figura 7.

- Vigas

Las vigas trianguladas se encuentran en la separación calzada-acera, por lo que permiten a los peatones y ciclistas disponer de una visión atractiva del entorno y proporcionan una mayor seguridad al separar totalmente la circulación de vehículos y de viandantes.

El ancho de las vigas y su triangulación ha sido discutido detalladamente hasta alcanzar una solución que proporcionara tanto la resistencia estructural necesaria como la estética deseada, tal y como se muestran en las siguientes figuras.

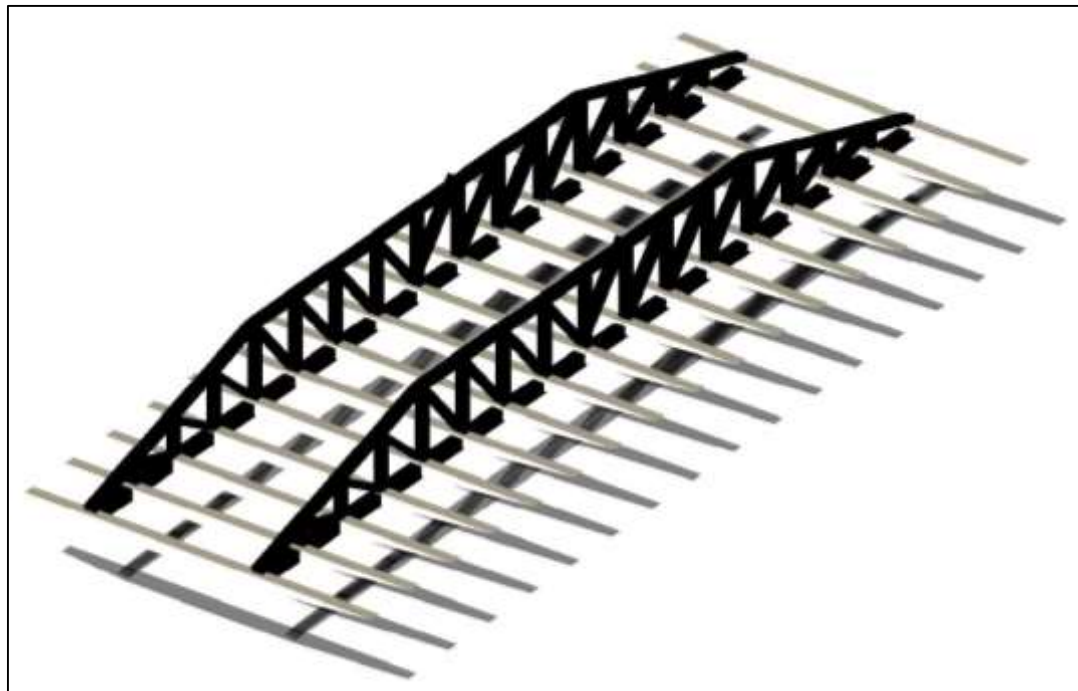


Figura 7. Vista general de la estructura metálica. Fuente: Elaboración propia.

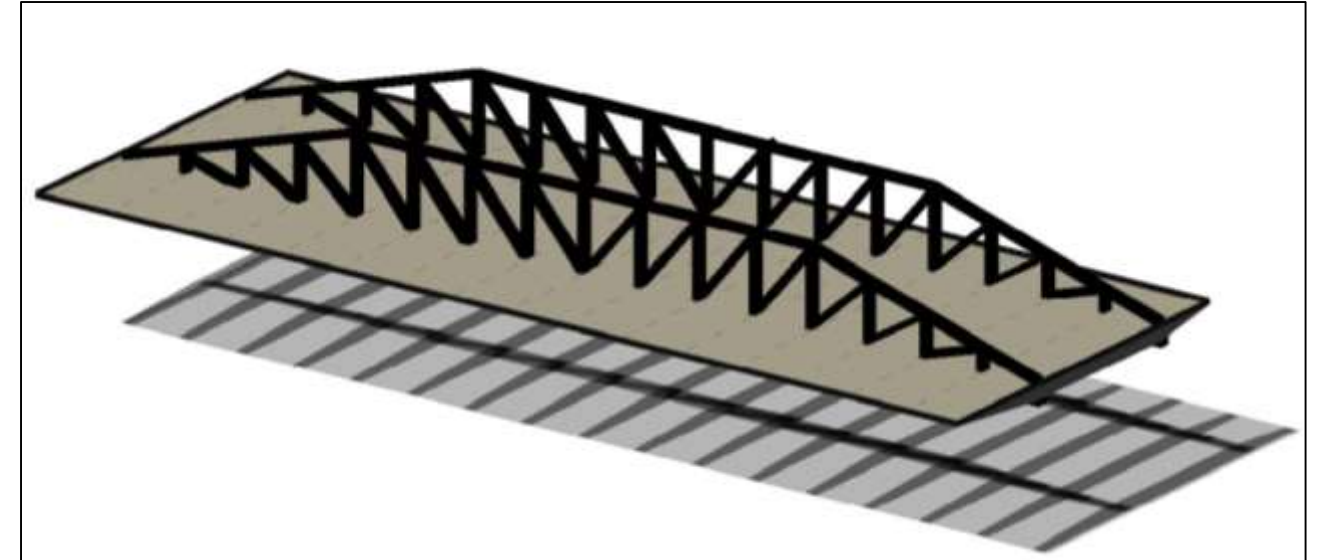


Figura 8. Vista general de la estructura metálica. Fuente: Elaboración propia.

4.2 Alternativa nº 2: Puente arco con tablero inferior

Como segunda alternativa se plantea un puente en doble arco con tablero inferior o bowstring, realizado en acero. Se disponen dos arcos de planta recta, situados en la separación entre la calzada y las aceras. Dicha disposición de los arcos permite reducir el momento flector en el centro de vano de la sección transversal, pudiendo reducir el canto de las vigas con la finalidad de disponer un tablero más esbelto. Por otro lado, la conexión del arco con el tablero se realiza mediante la disposición de 14 péndolas flexibles, de manera que se evite crear una barrera visual del entorno.

- Arco

Por razones de gálibo, tanto en la zona de la calzada como en las aceras, se han descartado las opciones de disponer los arcos inclinados hacia el interior o el exterior de los mismos, para evitar un sobreancho excesivo del tablero y dejar una zona inhabilitada al tráfico. Por ello, se trata de dos arcos rectos unidos al tablero de forma que la estructura queda simplemente apoyada en los estribos. La sección transversal del arco es de forma trapezoidal, con la intención de crear un aspecto más atractivo.

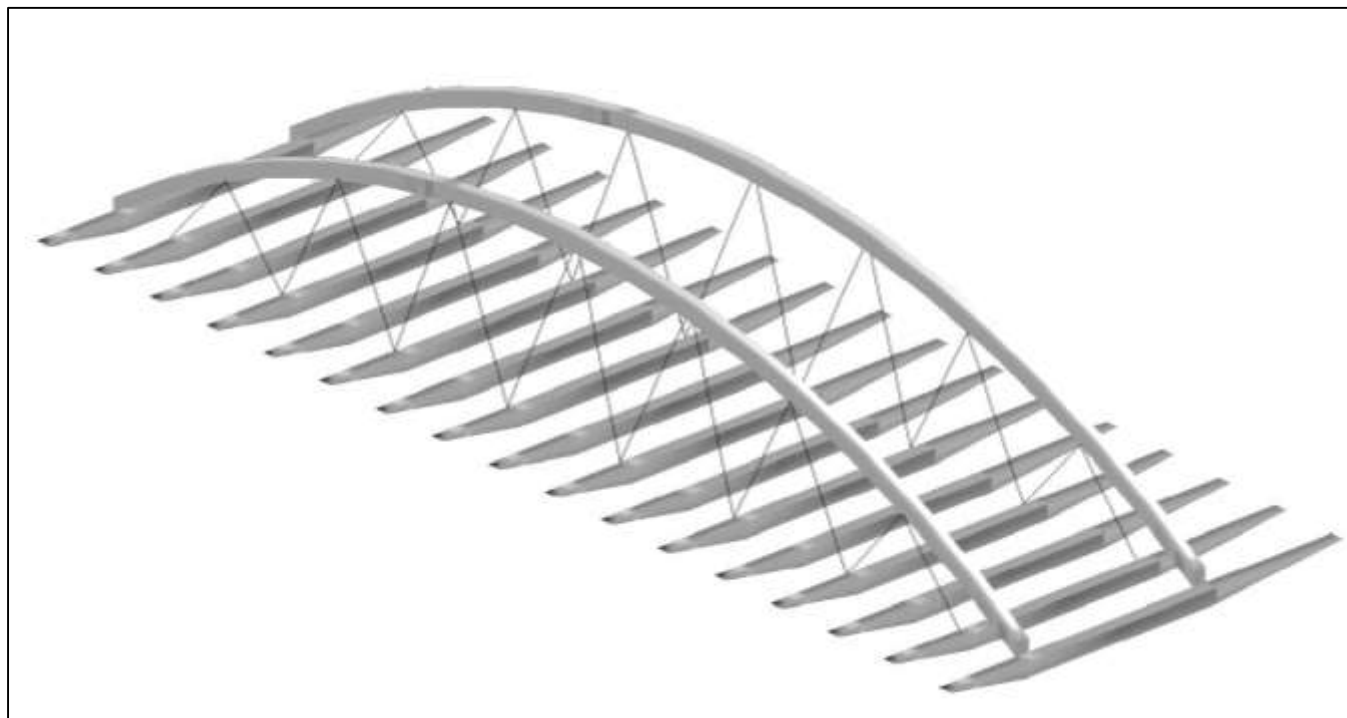


Figura 9. Vista general del sistema primario. Fuente: Elaboración propia.

- Péndolas

Las péndolas son flexibles y se disponen inclinadas por motivos estéticos. Las péndolas se unen rígidamente a las vigas longitudinales que forman el tablero cada 5 metros.

- Tablero

Del mismo modo que en la solución anterior, se dispone un tablero mixto formado por un emparrillado de dos vigas longitudinales (en las cuales se anclan las péndolas) y vigas de piso dispuestas cada 2.5 metros, y por una losa de hormigón colaborante sobre chapa grecada.



Figura 10. Vista inferior del tablero mixto. Fuente: Elaboración propia.

4.3 Alternativa nº 3: Puente atirantado

Como tercera opción se plantea un puente atirantado, con dos pilonos a cada uno de los lados del puente que proporcionan dos planos de tirantes paralelos ubicados entre la calzada y la acera, y que sustentan un único vano de 40 metros de luz. Al no poder invadir la mediana, como se ha mencionado anteriormente, se deben disponer dos planos de tirantes, para evitar asimetrías y problemas de torsión. De este modo, esta disposición es la más adecuada en cuanto a un puente con sistema primario atirantado.

- Tablero

La sección transversal consistiría en un tablero mixto formado por dos vigas longitudinales en cajón a las que se anclan los tirantes y una losa colaborante de hormigón, hormigonada mediante la utilización de una chapa grecada como encofrado perdido. Para sustentar el tablero, se completa la estructura con vigas de piso y cuchillos laterales.

- Torres y péndolas

Se disponen 2 torres en cada estribo del puente y la altura de cada una de las torres es de 9,5 metros. De cada una de las torres, salen dos péndolas flexibles que conectan con el tablero: la péndola más corta se conecta con el tablero a los 10 metros (1/4 de la longitud del tablero) mientras que la segunda péndola se conecta al tablero en la mitad de su longitud, a los 20 metros.

- Otras consideraciones

Se ha considerado esta opción a pesar de ser una tipología empleada para luces mayores ya que la altura requerida de las pilas encajaría en la arquitectura del entorno y permite conseguir un tablero muy esbelto. De este modo, será valorada junto con las otras alternativas.



Figura 11. Vista inferior del tablero y torres. Fuente: Elaboración propia.

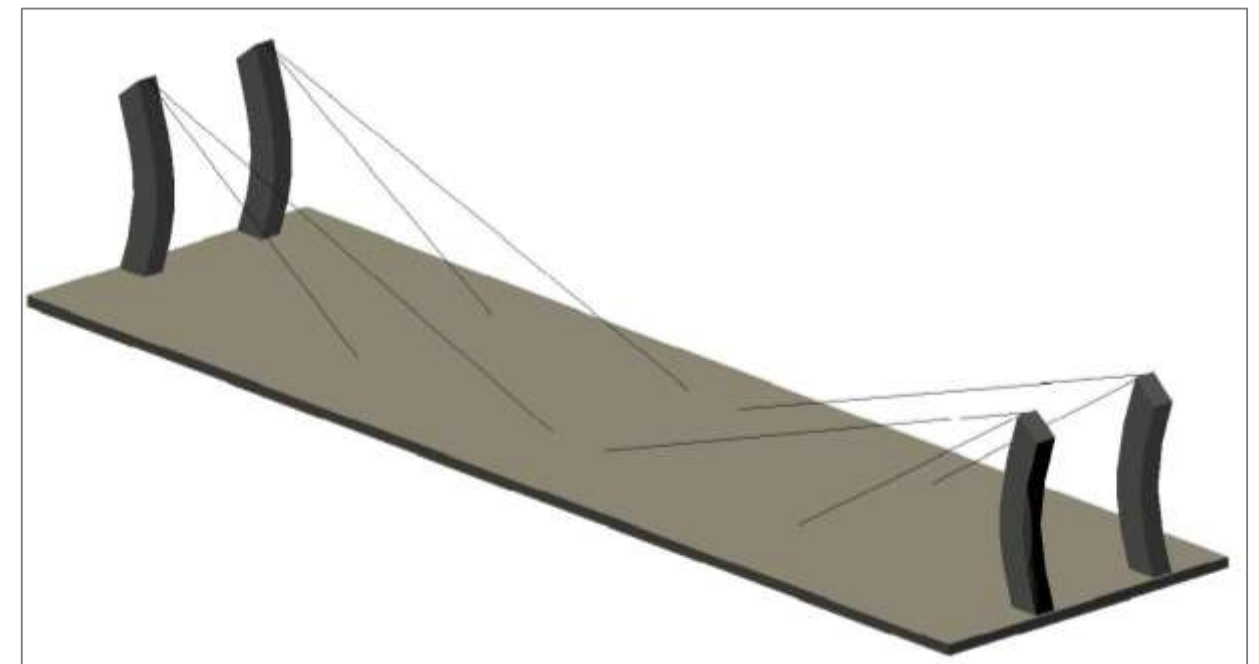


Figura 12. Vista superior del tablero y torres. Fuente: Elaboración propia.

4.4 Alternativa nº 4: Puente arco con bifurcación en los extremos y tablero inferior

La última alternativa es un puente en doble arco con tablero inferior mixto. Los arcos se disponen en dos planos verticales en la mitad de las aceras, con la peculiaridad de que cada uno de los arcos se bifurca en sus arranques en dos patas inclinadas, quedando cuatro apoyos en cada uno de los estribos del puente.

- Tablero

Se trata de un tablero mixto formado por dos nervios longitudinales que al igual que el arco, se bifurcan en dos vigas que son recogidas en el estribo mediante una riostra que centra los esfuerzos. El tablero se completa con vigas de piso y cuchillos transversales en sección en doble T dispuestos cada 2.5 metros, y por último la losa colaborante de hormigón armado apoyada sobre chapa grecada.

Además, se cuenta con otra característica distintiva como son las vigas de piso vistas entre la calzada y la acera, esto se debe a que por limitaciones de gálibo se debe dar un sobreancho a las aceras que se aprovecha para dar este aspecto decorativo y diferente.

- Arco

Se realiza en acero y con sección en cajón, presenta una forma peculiar ya que consta en los arranques de dos patas que se unen formando el arco, tal y como se observa en la vista en planta del puente. Además, cada arco consta de unos arriostramientos en sus aberturas en dos patas.

- Péndolas

La conexión del arco con el tablero se realiza mediante 8 péndolas flexibles que se unen rígidamente a las vigas de piso y a los arcos, se trata de péndolas inclinadas en su alzado.

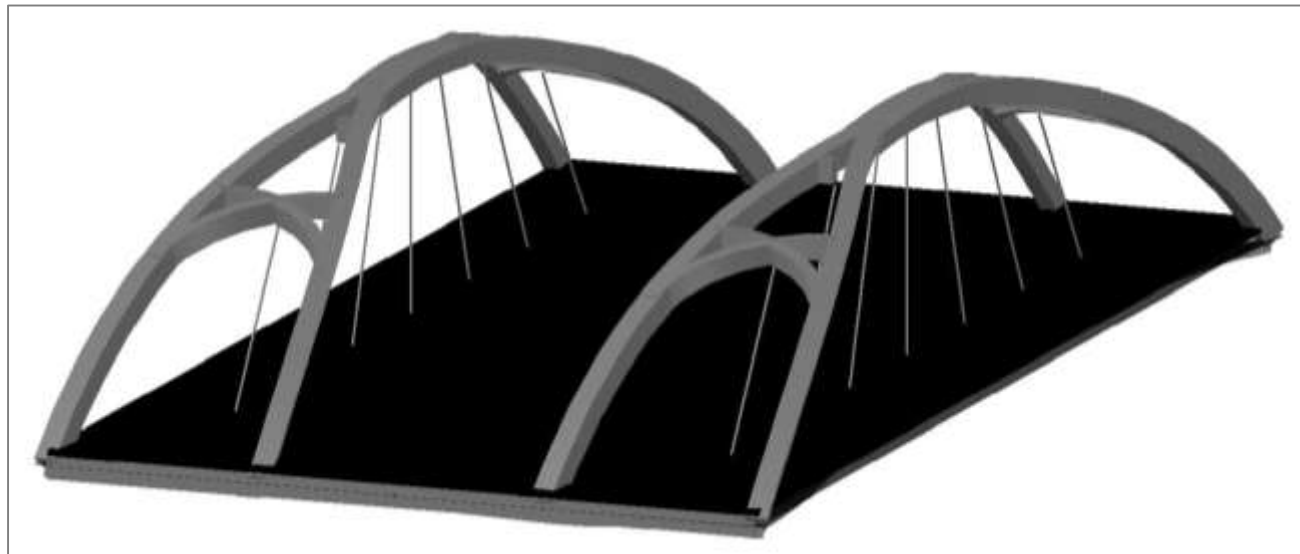


Figura 13. Vista superior del puente. Fuente: Elaboración propia.

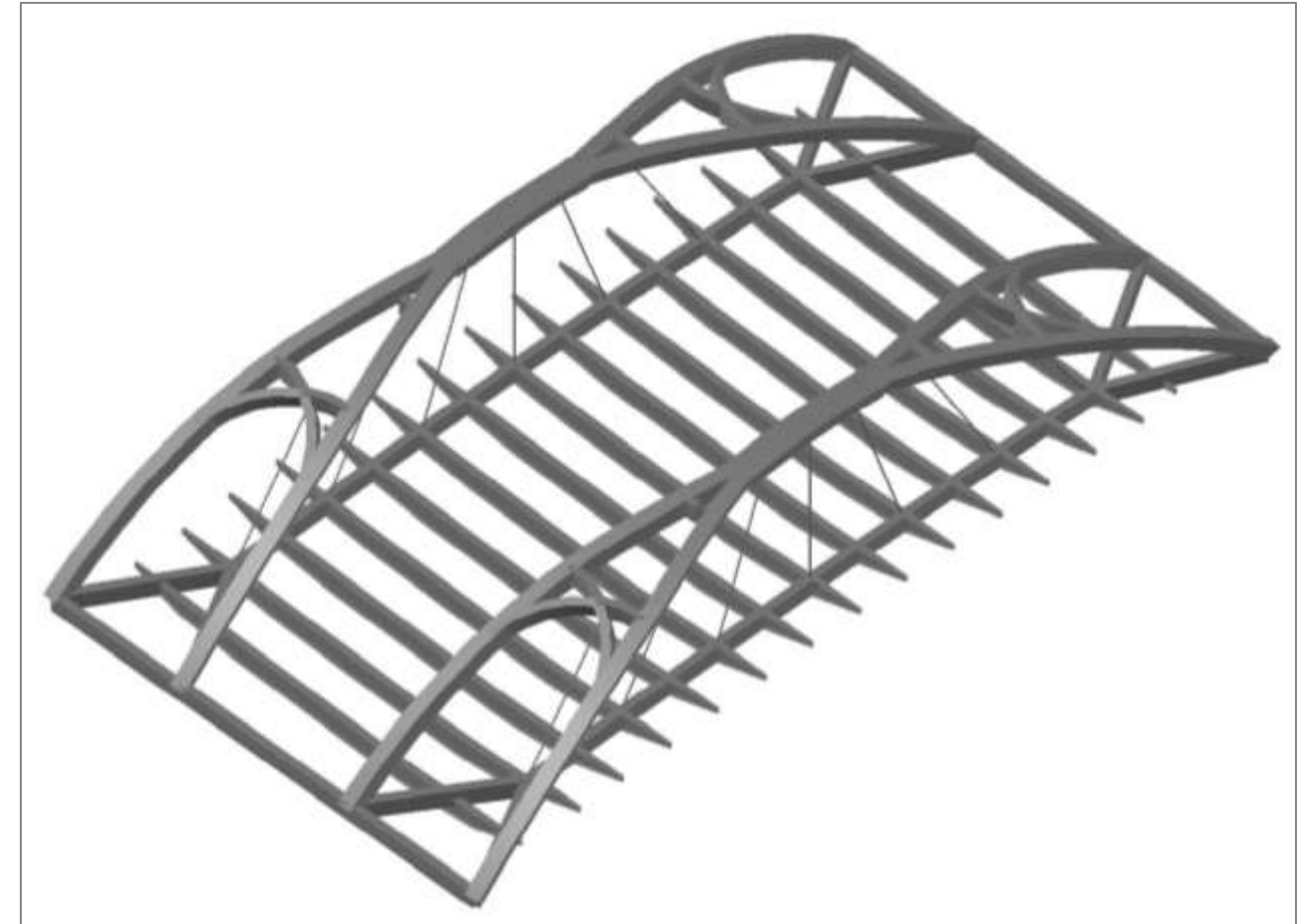


Figura 14. Vista general del sistema primario. Fuente: Elaboración propia.



5. VALORACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

En este apartado se van a comparar las distintas soluciones descritas anteriormente, para ello se realiza un análisis de cada solución considerando diferentes aspectos. Los aspectos a considerar: estructural, constructivo, funcional, estético, impacto ambiental y económico nos permiten escoger la mejor solución.

Los criterios y subcriterios de selección utilizados para la evaluación de las distintas alternativas se describen a continuación.

5.1 Criterio estructural

Se tiene en cuenta el nivel de funcionamiento y optimización dentro de la tipología de cada estructura planteada. Al tratarse de un proyecto básico se realizan cálculos estructurales elementales basándose en estructuras de características similares en luces y tipologías.

5.2 Criterio constructivo

En este apartado se va a valorar la viabilidad constructiva, que existan métodos conocidos y válidos para la realización de la estructura y del proceso constructivo que conlleva. Se tiene en cuenta la facilidad de transporte y ensamblaje de la estructura, los accesos, la disposición de zonas de almacenamiento y la facilidad para los operarios, entre otros aspectos.

5.3 Criterio funcional

Se valora el grado de conservación y mantenimiento de cada estructura planteada y del coste que esto conlleva. Para esto se tiene en cuenta los materiales utilizados y la accesibilidad a los elementos, en función del grado de conservación y de su intensidad se valoran las propuestas.

5.4 Criterio estético

Como ya se ha comentado, la obra se sitúa en pleno centro urbano, por lo que la estética es un papel fundamental en la estructura. Al tratarse de un proyecto académico se ha valorado más la estética de la solución que la economía, por lo que la valoración de las propuestas se ha realizado otorgando mayor puntuación a las soluciones más estéticas.

5.5 Criterio de impacto ambiental

La obra se realiza en pleno núcleo urbano y muy próxima a la costa, por lo que este criterio es de vital importancia. Se analiza la interacción de la estructura proyectada con el entorno del emplazamiento: hay que tener en cuenta que se pretende realizar una estructura llamativa y que sea característica de la zona, pero siempre respetando las vistas que proporciona el entorno. Por ello se busca una estructura ligera que oponga el menor bloqueo visual posible.

5.6 Criterio económico

En este apartado se valora el coste de las diferentes propuestas, así como el de sus procesos constructivos. Para facilitar la valoración económica, se comparan las propuestas con estructuras similares que sean ejemplo de buena práctica estructural.

En este caso, el criterio económico no es limitante a la hora de elegir la solución óptima, ya que al tratarse de un trabajo académico no se ha preestablecido ningún límite económico. A pesar de ello, ha sido considerado en función del volumen de material utilizado, la complejidad de la solución y la sencillez del proceso constructivo, y por último el coste de mantenimiento durante su vida útil.

A continuación, se valoran las diferentes propuestas basándonos en los criterios explicados. Todas las valoraciones se puntúan de 1 a 10, siendo en todos los criterios 10 la nota más favorable y 1 la desfavorable.

| CRITERIOS | PROPUESTA 1 | PROPUESTA 2 | PROPUESTA 3 | PROPUESTA 4 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ESTRUCTURAL | 6 | 7 | 5 | 8 |
| CONSTRUCTIVO | 8 | 7 | 6 | 7 |
| FUNCIONAL | 5 | 6 | 6 | 6 |
| ESTÉTICO | 5 | 7 | 6 | 8 |
| IMPACTO AMBIENTAL | 5 | 7 | 5 | 7 |
| ECONÓMICO | 6 | 7 | 6 | 6 |

Tabla 1. Valoración de las distintas propuestas



6. ESTUDIO COMPARATIVO REALIZADO

Una vez se han valorado las diferentes alternativas, se procede a otorgar diferentes pesos a los subcriterios. Se considera que algunos aspectos deben de ser más importantes que otros. De este modo, se otorga un 20% a los subcriterios de eficiencia estructural y aceptación social. Por otro lado, a los subcriterios de facilidad constructiva, conservación y mantenimiento, integración en el entorno y coste de ejecución se les otorga una puntuación del 15% a cada una de ellos. Los resultados obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

| CRITERIOS | PESO | PROPUESTA 1 | PROPUESTA 2 | PROPUESTA 3 | PROPUESTA 4 |
|-------------------|------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ESTRUCT. | 0,2 | 6 | 7 | 5 | 8 |
| CONSTRUCT. | 0,15 | 8 | 7 | 6 | 7 |
| FUNCIONAL | 0,15 | 5 | 6 | 6 | 6 |
| ESTÉTICO | 0,2 | 5 | 7 | 6 | 8 |
| IMPACTO AMBIENTAL | 0,15 | 5 | 7 | 5 | 7 |
| ECONÓMICO | 0,15 | 6 | 7 | 6 | 6 |
| RESULTADO | | 5,8 | 6,85 | 5,65 | 7,1 |

Tabla 2. Comparación de las distintas propuestas

La propuesta 4 es la que mejor se adapta a los resultados buscados, por lo que a continuación se realiza una descripción detallada de todas sus características.

7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN

La solución escogida, como ya se ha comentado, es un puente arco de acero con tablero inferior mixto. Los arcos se disponen en dos planos verticales en la mitad de ambas aceras, con la peculiaridad de que cada arco se bifurca en sus arranques formando dos patas inclinadas (siendo cuatro puntos de arranque de cada arco). El sistema estructural del tablero mixto está formado por: dos nervios longitudinales en cajón cerrado (dispuestos en el medio de las aceras), unas vigas de piso transversales en doble T dispuestas cada 2,5 m y la losa de hormigón colaborante dispuesta sobre el entramado formado por las vigas de piso y los nervios (apoyada sobre la chapa grecada). El arco se conecta al tablero mediante péndolas flexibles inclinadas que se unen a los nervios longitudinales.

Las dimensiones finales de la estructura son:

- Luz libre: 40 m
- Luz entre ejes de apoyo: 42,05 m
- Ancho de las aceras: 5,575 m
- Ancho de la calzada: 7,5 m
- Altura del arco: 8 m (medido desde el eje de las vigas de piso al eje del arco).
- Separación entre péndolas: 5 metros en el tablero.

7.1 Arco de acero

Los arcos dispuestos son de acero y su sección transversal es en cajón. La geometría del arco en alzado es circular, hecho que no supone ningún problema ya que al ser de acero puede soportar estados de flexocompresión. Dicha geometría aporta un estado de ligereza visual y estética.

Por otro lado, la geometría de las partes centrales de los arcos en planta es recta, coincidentes en proyección con las vigas longitudinales dispuestas en el tablero. Mientras que la bifurcación de los arcos en planta adopta también una forma circular.

El acero que compone el arco es de tipo S355 J2.

7.2 Péndolas y anclajes

La unión de los arcos al tablero se materializa con un conjunto de péndolas flexibles. Dichas péndolas se disponen en el plano vertical formado por las vigas longitudinales y los arcos, mientras que en alzado son inclinadas.

Las péndolas están separadas entre sí 5 m, siendo de sección circular constante en todo el plano vertical. La unión de las péndolas flexibles tanto al arco como a las vigas longitudinales se materializa con una serie de diafragmas dispuestos de forma coincidente con las vigas transversales a 2.5 m

Se extraen del catálogo de la firma comercial Macalloy (o similar) y se opta por la tipología de barras Macalloy M85 de acero inoxidable (se puede optar por una similar).

Algunas de las características de las péndolas seleccionadas son:

- Diámetro nominal de la barra: 82 mm.
- Carga mínima límite elástico: 2239 kN
- Carga mínima de rotura: 2969 kN
- Peso nominal de la barra: 41,5 kg/m.

7.3 Tablero mixto

El cumplimiento del gálibo exigido para los peatones en las aceras por el paso a través de los arcos, obliga a realizar un sobreebanco en el tablero del puente. Éste se aprovecha para realizar dos huecos longitudinales entre la calzada y las aceras de 1 metro de ancho, de manera que queden vistas las vigas de piso y el cauce de la rambla, cosa que aporta una estética especial a la estructura. Estos huecos quedan protegidos por una rejilla electrosoldada tipo Trámex, la cual se define en el documento “Anejo nº6: Diseño de equipamientos”.

El tablero está formado por un emparrillado de vigas de acero y una losa colaborante de hormigón sobre chapa grecada. La losa de hormigón esta interrumpida por el hueco longitudinal, por lo que se disponen tres losas diferenciadas: una en cada acera y otra en la calzada. El hormigón utilizado en la losa es HA-30/F/20/IIIa, con armaduras tipo B500 SD.

Por otro lado, el emparrillado resistente del tablero está formado por:

- Vigas longitudinales rectas dispuestas en la mitad de las aceras, son vigas en cajón de sección constante. Las dimensiones de la sección en cajón son de 400x800 mm formado por espesores de chapa de 12 mm.
- Vigas diagonales, dispuestas en los laterales del emparrillado coincidentes en planta con la abertura de los arcos en dos patas inclinadas. Son vigas en cajón de 400x800 mm formadas por chapas de espesor 30 mm.
- Vigas de piso transversales, dispuestas entre los nervios longitudinales a lo largo de todo el tablero. Son vigas de sección variable separadas 2,5 metros entre ellas. La viga, en el centro luz, adopta una sección constante mientras que al aproximarse a los nervios longitudinales decrece su sección en los últimos 2,5 metros para poder realizar la unión con los nervios longitudinales cómodamente.
- Cuchillos transversales, dispuestos entre los nervios longitudinales y los extremos de las pasarelas. Son vigas en doble T de canto variable, con mayor canto en la proximidad del nervio longitudinal y menor en los extremos del puente.

El acero dispuesto en las vigas que conforman el emparrillado es de clase S355 J2. Por otro lado, la chapa grecada se dispone sobre dicho emparrillado, atornillada a las vigas y hace de encofrado perdido para la losa de hormigón. La chapa grecada es galvanizada modelo EUROCOL 60 (e=1mm) o similar.

A continuación, se puede observar una imagen (figura 15) de la vista en planta de la estructura metálica del puente:

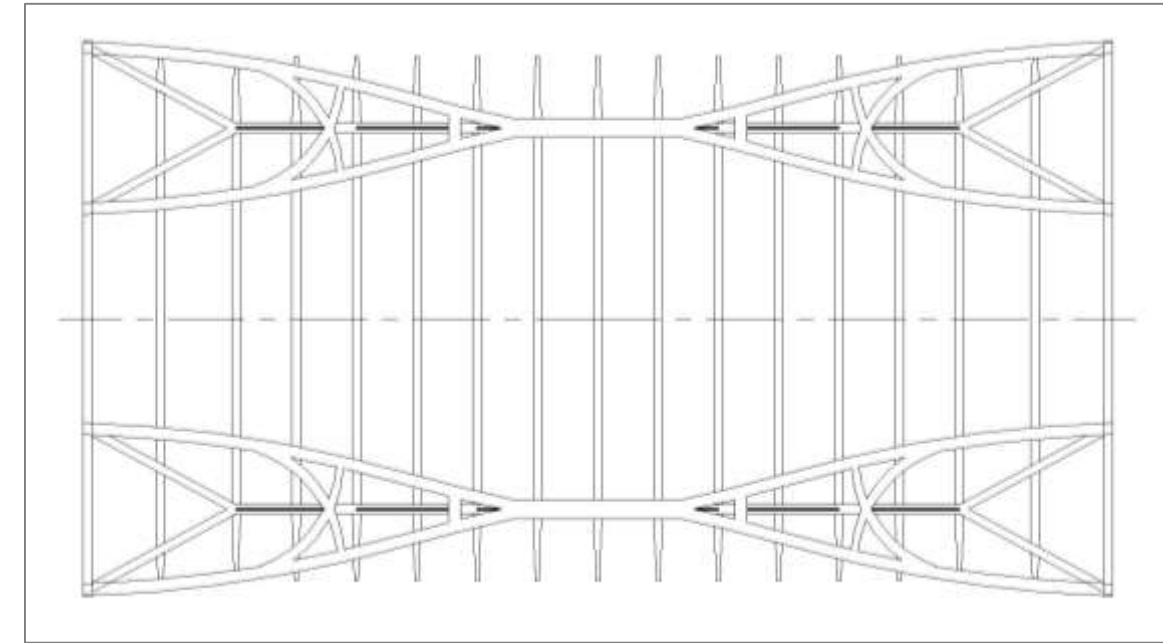


Figura 15. Planta de la estructura metálica. Fuente: Elaboración propia.

7.4 Estribos y subestructuras

En cuanto a las subestructuras, se ha decidido realizar una cimentación profunda en pilotes perforados de hormigón in situ, debido a la presencia de terreno cohesivo en ambos estribos y la envergadura de la estructura proyectada. Cada uno de los estribos presenta una cimentación mediante 24 pilotes de diámetro 1 metro, dispuestos en dos filas y atados mediante un encepado de dimensiones 24.90x6x1m.

Debido a que el apoyo del arco se encuentra aproximadamente un metro retranqueado del muro del cajero, ha sido necesario realizar el diseño del estribo incluyendo el muro del cajero, el cual debe tener unas dimensiones capaces de resistir los empujes hidrodinámicos. El estribo se trata de un estribo cerrado recto, y cuenta con una losa de transición y las correspondientes canaletas de desagüe para evacuar el agua. Así mismo, el trasdós del estribo cuenta con una lámina drenante y queda relleno mediante material granular filtrante, que recoge el agua con la ayuda de un geotextil y la conduce hacia el tubo que se encuentra al pie del estribo. A continuación, se muestra una imagen del perfil tipo del estribo.

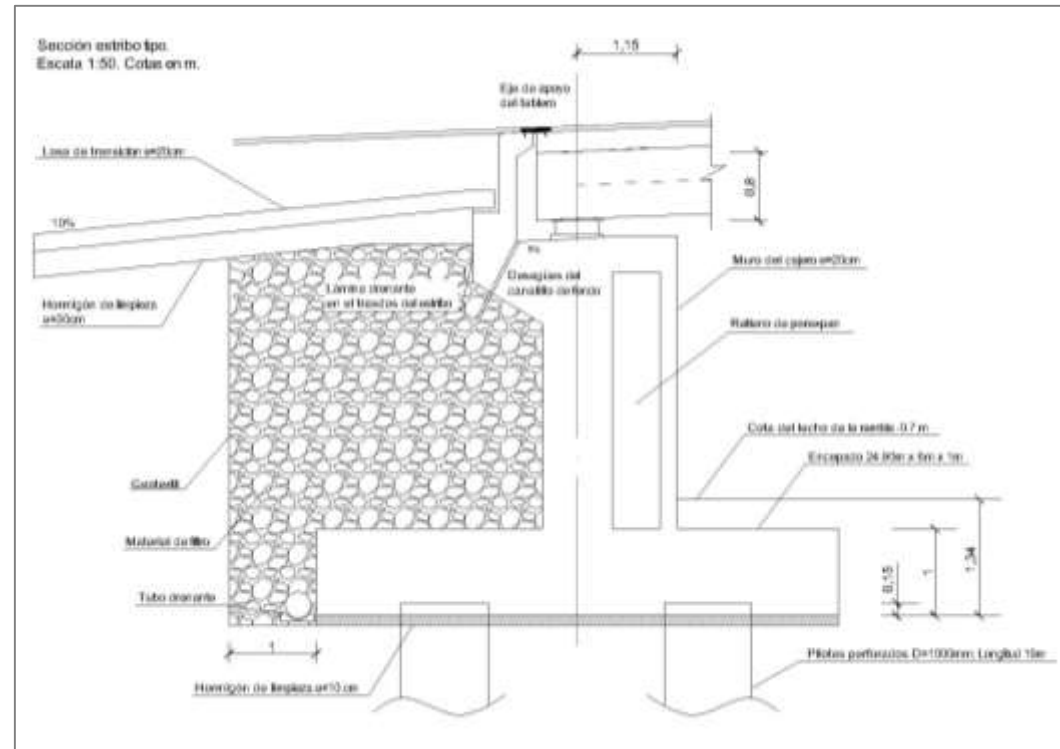


Figura 16. Sección del estribo. Fuente: Elaboración propia.

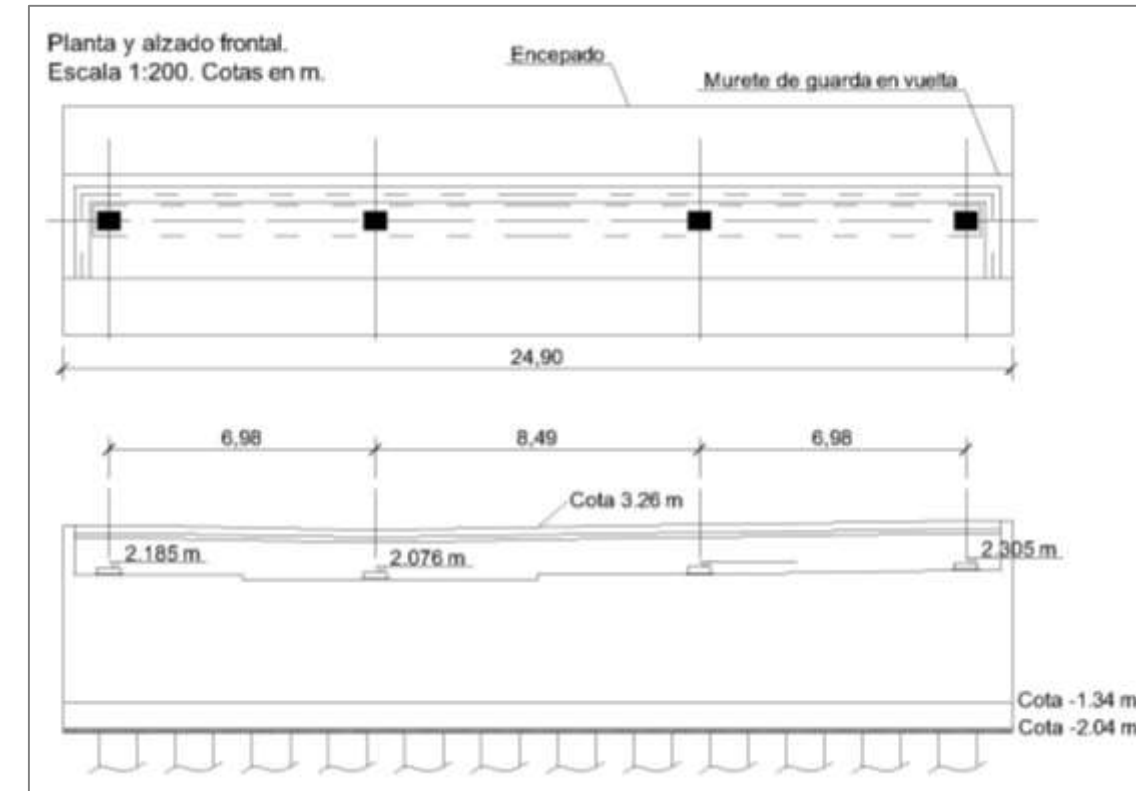


Figura 17. Planta y alzado del estribo. Fuente: Elaboración propia.

El alzado del estribo se ha realizado mediante pequeños escalones, debido a las pendientes transversales con las que cuenta la sección transversal del puente y las distintas cotas en las que apoyan las vigas diagonales en cada uno de los cuatro apoyos. Así mismo, el murete de guarda acaba en vuelta como un murete vertical, de forma que evita que las tierras de los lados invadan los apoyos.

Los aparatos de apoyo se proyectan de neopreno zunchado, eligiendo las mejores dimensiones en función de las reacciones y movimientos que presenta la estructura, así como comprobando si es necesario su anclaje en función de las reacciones mínimas. Con todo ello, se selecciona un aparato de apoyo TIPO A 500x600x10(11+4) o similar.

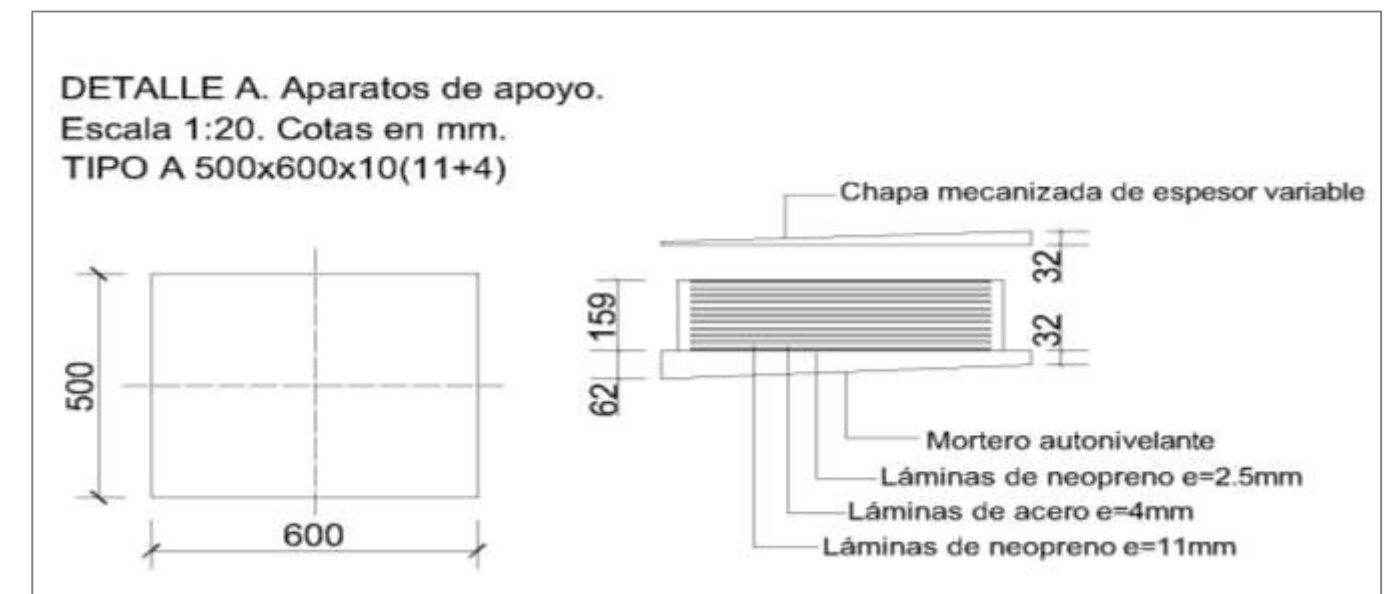


Figura 18. Detalle aparato de apoyo. Fuente: Elaboración propia.

7.5 Equipamientos

A continuación, se realiza una breve descripción de los equipamientos del puente. Estos se explican con mayor detalle en el Anejo nº 6 “Diseño de Equipamientos”.

7.5.1 Pavimento

El pavimento del puente se divide en tres partes claramente diferenciadas: el carril bici, el pavimento urbano y la calzada para el paso de los vehículos. De este modo, se tiene:

- Pavimento urbano

Se dispone un pavimento “REPEN UNITO – Mármol” del fabricante ZENITH C o similar. Las piezas disponen un acabado flameado y sus dimensiones son 60x30x3 cm. Su acabado flameado le otorga excelentes características antideslizantes, además de una gran estética que encaja perfectamente con el entorno de la Avenida. En la siguiente imagen (figura 19) se muestra el pavimento a disponer.



Figura 19. Detalle del pavimento urbano. Fuente: Catálogo Zenith C.

- Carril bici

El carril bici se realiza mediante un sistema para carriles bici sobre soportes asfálticos de Sika o similar. Este diseño adopta una capa de imprimación 1 x Sikafloor-154 W, una capa base 2 x Sikafloor- 2030 y una capa de sellado 2 x Sikafloor-2120. Es un pavimento de color rojo tipo Ral 3009 o similar, adecuado ya que soporta un importante grado de desgaste mecánico, así como el derrame de productos químicos agresivos como combustibles. Además, es un pavimento de fácil colocación, cuya explicación se desarrolla en el “Anejo Nº5: Diseño de equipamientos”.



Figura 20. Especificaciones del pavimento del carril bici. (Sika, 2016)

- Pavimento de la calzada

El dimensionamiento del firme de la calzada se determina trabajando con la IMD de un acceso próximo, la CV-135 en el tramo Sant Mateu-Benicarló, ya que no se disponen datos de la Avenida del Papa Luna. A continuación, se resumen brevemente las características del trazado que nos permiten definir el firme (en el Anejo nº 6 se desarrolla la explicación del dimensionamiento).

Los datos obtenidos para la intensidad media diaria para vehículos pesados (IMDp) para el carril de proyecto es de 37,5 vehículos pesados, por lo que se tiene una categoría de tráfico pesado T41.

El espesor de la capa de rodadura adoptado es de 60 mm, y el tipo de mezcla en función del espesor y del tipo de capa es una mezcla semidensa AC22surf S. Por último, el tipo de ligante a utilizar es un betún 50/70 ya que Benicarló se encuentra en una zona térmica estival y el tipo de tráfico es T41.

- Capa de estanqueidad

La capa de estanqueidad, para evitar la filtración de agua hacia el hormigón armado y la losa colaborante, dispuesta es un “ParaforPonts” del fabricante SIPLAST o similar. Es una capa de estanqueidad que se adecua a las superficies transitables por peatones y vehículos, siendo posible su utilización bajo la mezcla bituminosa (o cualquier otra superficie de apoyo).

Es una lámina de betún elastómero SBS de 4 mm de espesor, autoprottegida con gránulos cerámicos de color blanco, de 6,0 kg/m² de masa, y reforzada con una armadura de poliéster no tejido de 180 g/m². La puesta en obra se detalla en el Anejo nº5: Diseño de equipamientos. En la siguiente imagen (figura 21) se puede observar la forma de la capa de estanqueidad.



7.5.2 Impostas

Las impostas se han realizado mediante un diseño sencillo, con formas curvas que encajen en la estética del conjunto del puente. En la parte interna de la acera, también se dispone una imposta al existir un hueco longitudinal entre la calzada y la acera.

Se trata de una imposta prefabricada de hormigón armado con módulos de 2.5 metros de longitud (distancia entre ejes de las vigas de piso), y que cuenta con los respectivos elementos de anclaje que quedarán embebidos en el hormigón de la contraimposta.

La geometría se muestra totalmente detallada en el Plano nº10 y los aspectos constructivos se explican en el “Anejo nº6: Diseño de equipamientos”.



7.5.3 Defensas

Las defensas dispuestas en el puente son las barandillas sobre ambos lados de las pasarelas y las barreras rígidas dispuestas en ambos lados de la calzada. A continuación, se detallan ambas:

- Barandillas sobre pasarelas

Las barandillas se ubican a ambos lados de las pasarelas, debido al hueco existente entre la calzada y las aceras. Se busca un diseño sencillo con el que se consiga un aspecto ligero y estético.

Para el diseño de la barandilla como para su correcto funcionamiento se han tenido en cuenta los aspectos estéticos y de seguridad. La norma limita la altura mínima de la barandilla a 1,2 metros de altura, además también se limita la máxima separación de los elementos longitudinales a 15 cm, en los primeros 60 cm.

De este modo, la barandilla se trata de una serie de montantes verticales de acero inoxidable y espesor 30 mm, separados cada 2,5 metros (coincidiendo con la separación de las vigas de piso del tablero).

Sobre los montantes reposa un pasamanos de acero inoxidable de 50 mm de diámetro exterior y con un espesor de 3 mm, en el cual se colocará la iluminación de las aceras. Se disponen cables longitudinales de diámetro 10 mm que atraviesan los montantes y que realizan una función puramente estética y de protección (extraídos del catálogo Ronstan o similares). Se colocan cuatro cables cada 15 cm en los primeros 60 cm, y un quinto a 30 cm del último anterior. La geometría del diseño expuesto se describe con mayor detalle en el Plano nº10.



- Defensa contra la calzada

La defensa sobre la calzada se trata de una barrera rígida de hormigón armado hormigonada in situ, su geometría ha sido diseñada en función de la seguridad y de la estética del puente. Debido a la separación existente entre la calzada y las pasarelas, la barrera rígida cuenta con una altura de 60 cm (quedando 40 cm por encima de la rasante de la calzada) que proporciona a los vehículos la seguridad necesaria en su circulación, y un ancho de 20 cm que sobresale de las dimensiones de la calzada en cada uno de los lados.

La geometría de la defensa puede consultarse con mayor detalle en el Plano nº10.

7.5.4 Protección del hueco entre calzada y aceras

Para la protección del hueco longitudinal entre las aceras y la calzada se ha optado por la utilización de una rejilla electrosoldada tipo Trámex, ligera y resistente altamente utilizada en el sector industrial. Sus características se definen con más detalle en el Anejo nº6 Diseño de equipamientos.

Se trata de una rejilla de dimensiones de marco 1000x1000mm, con luz de malla 30x30mm, pletinas portantes de 30x2mm y separador redondo, del fabricante SAIGO o similar. A continuación, se muestra una imagen (figura 24) de una rejilla tipo Trámex estándar.

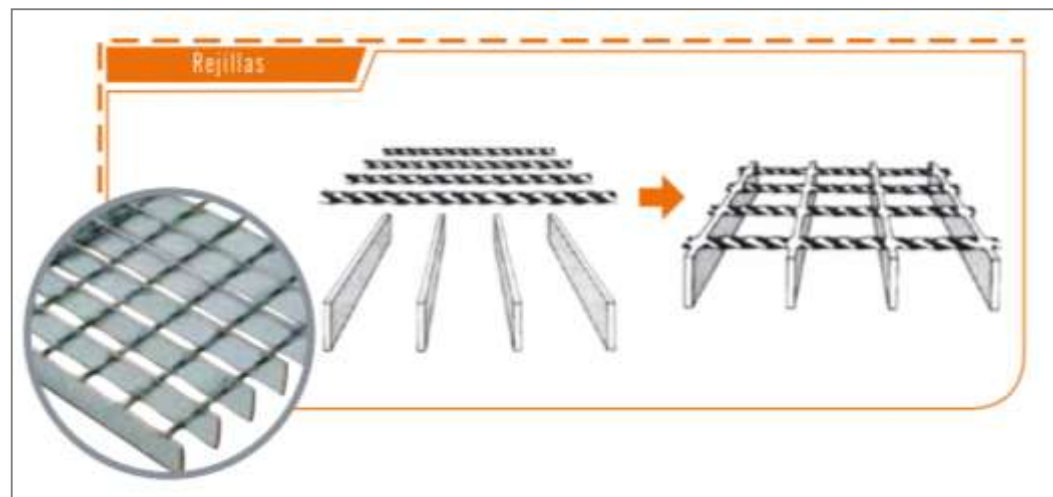


Figura 24. Rejilla tipo Trámex. Fuente: Catálogo fabricante SAIGO o similar.

7.5.5 Drenaje

El sistema de drenaje del puente para la evacuación de las aguas pluviales se realiza mediante imbornales. Se colocan tres filas de imbornales, una en cada acera y una en la calzada. Los imbornales en las aceras se van a situar en la parte interna del tablero, mientras que la fila de imbornales en la calzada se sitúa en la parte aguas abajo del puente.

El dimensionamiento de las obras de drenaje se va a realizar para la calzada y se va a colocar la misma disposición de los sumideros en las aceras, quedando de este modo del lado de la seguridad. También se consigue así, una mayor homogeneidad y facilidad de montaje.

El drenaje del puente se realiza para un caudal de diseño de período de retorno de 25 años y se evacua mediante sumideros obtenidos del catálogo Benito (o similar). Son rejas de fundición dúctil de la tipología C-250, en la siguiente imagen (figura 25) se puede observar el sumidero escogido.



Figura 25. Sumidero de fundición dúctil. Fuente: Catálogo general Benito 2012.

Tanto en la calzada como en las aceras, se van a disponer 14 imbornales en cada fila, con una separación de 2.5 metros entre ellos.

La geometría detallada del sumidero y las comprobaciones realizadas para el dimensionamiento se indican en el Anejo nº 6 Diseño de Equipamientos.

7.5.6 Iluminación

La iluminación del puente se va a diferenciar tres zonas: la iluminación de las pasarelas, la iluminación de la calle y la iluminación de la calzada. Las características que debe cumplir la iluminación se obtienen de las "Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles", por lo que se llevarán a cabo una serie de comprobaciones, mediante el programa de diseño Dialux, con la finalidad de que se cumpla lo establecido en la norma. De este modo, se tiene:

- Iluminación de la calzada

En el caso de la iluminación de la calzada, se decide integrar los focos en los arcos, optando por una iluminación a base de lámparas que recorren el interior del arco. Debido a la altura de nuestros arcos y su forma característica,



se debe disponer una serie de focos cada cierta distancia de forma que se integren en la forma peculiar del arco, para que haya una adecuada iluminación de la calzada.

El tipo de marca especializada para las lámparas escogida es Disano o similar, y el modelo es: Disano 1152 Tonale1 difusor de vidrio Disano 1152 SAPT150 X=5Y=1CNR grafito. Se trata de una lámpara de 162 W de potencia y de 0.895X0.345X0.304 m.

- Iluminación de las pasarelas

Debido a que la iluminación de la calzada no ilumina las pasarelas en su totalidad, ya que se encuentra separadas de la calzada (y la calzada se encuentra convenientemente iluminada con focos dispuestos sobre ambos arcos) se decide optar por la disposición de una serie de pasamanos de la casa DW Windsor. Este pasamanos contiene un LED Handrail con un ángulo de iluminación asimétrico hacia el interior de la pasarela de 56º que otorga la iluminación necesaria a las pasarelas.

- Iluminación de la calle

En la calle se opta por farolas colocadas frente a frente. Cabe destacar que se potencia más la iluminación de la zona del puente (la calzada) ya que es lo que se pretende que resalte, obteniendo una resultado más estético y visual. Se establecen una serie de farolas acordes al diseño y estética del puente de 9.8 m de altura.

8. CONCLUSIÓN

Entre las diferentes alternativas consideradas, la alternativa 4, obtenida como la solución más favorable, es la propuesta con mayor complejidad estructural ya que es una estructura no convencional pero que trabaja de una manera muy eficiente.

Es una solución ambiciosa, con gran cantidad de acero sobre la estructura, por lo que se van a transmitir grandes reacciones a la cimentación. Este hecho no supone ningún inconveniente ya que no se dispone de un presupuesto máximo que limite la ejecución de la obra, además de que se trata de un trabajo académico. Por este motivo, la solución realizada en el proyecto básico presente es la alternativa nº 4.

9. Referencias

Climate-Data. (Junio de 2016). Obtenido de Climate-Data: <http://es.climate-data.org/location/56912/>

Cremades, S. M. (Septiembre de 2015). *poliformat.upv.es*. Obtenido de poliformat.upv.es: https://poliformat.upv.es/portal/site/GRA_12859_2015/page/7188d86d-78b7-41cf-8b1a-8d729133144d

Sika. (2016). Sistema para carriles bici sobre soportes asfálticos. *Pavimentos deportivos, soportes asfálticos y hormigón*.